

EINFLUSS DER FELDFORM AUF DIE TIEFENDOSIS BEI VERSCHIEDENEN STRAHLENQUALITÄTEN

von

Hans-Hilmar Talazko
aus Kamenz/Sachsen

1967

Digitized by the Internet Archive
in 2026



Aus dem Institut für medizinische und physikalische
Strahlenkunde der Universität Erlangen - Nürnberg

Leiter: Prof.Dr.-Ing.F.Wachsmann

EINFLUSS DER FELDFORM AUF DIE TIEFENDOSIS
BEI VERSCHIEDENEN STRAHLENQUALITÄTEN

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
der
FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT
ERLANGEN - NÜRNBERG

vorgelegt von
Hans-Hilmar Talazko
aus Kamenz/Sachsen

EINFLUSS DER FELDFORM AUF DIE TIEFENDOSIS

BEI VERSCHIEDENEN STRAHLENQUALITÄTEN

Dekan: Prof. Dr. K.-G. O b e r
Referent: Prof.-Ing. Dr. F. Wachsmann
Korreferent: Prof. Dr. L. Demling
Tag der mündlichen Prüfung: 3.März 1967

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

Inhaltsverzeichnis

1. <u>Der Dosisabfall</u>	1
1.1 Abhängigkeit des Dosisabfalles von physikalischen und geometrischen Faktoren	1
1.2 Sammlungen von Dosisabfallkurven	2
1.3 Der Einfluß der Feldform - Aufgabenstellung	2
2. <u>Versuchsanordnung</u>	4
2.1 Apparatebeschreibung	4
2.1.1 Strahlenquellen	4
2.1.2 Phantom und Phantommaterial	4
2.1.3 Dosimeter	5
2.2 Ausblendung der verschiedenen Feldformen	6
3. <u>Meßablauf, Dosisermittlung und Meßergebnis</u>	8
Die relative Tiefendosis der verschiedenen Feldformen	11
3.1 bei einer Strahlenqualität von 50 kV	11
3.2 bei einer Strahlenqualität von 80 kV	12
3.3 bei einer Strahlenqualität von 140 kV	13
3.4 bei einer Strahlenqualität von 200 kV	14
3.5 bei einer Strahlenqualität von 300 kV	15
3.6 von Co 60	16
4. <u>Fehlerbetrachtung</u>	19
5. <u>Theoretische Verfahren</u>	21
5.1 Methode der sich entsprechenden Felder (= "the equivalent field method")	21
5.2 Feldverlängerung (= "Elongation")	21

6. Vergleich mit der Literatur 22

Eine kritische Betrachtung der von CLARKSON
angegebenen Werte (30) mit den Meßergebnissen

7. Schlußfolgerung 25

8. Zusammenfassung 26

9. Literaturangaben 27

Einfluß der Feldform auf die Tiefendosis bei verschiedenen Strahlenqualitäten

1. Der Dosisabfall

Die Wechselwirkungen der Röntgenstrahlen mit der durchstrahlten Materie sind mannigfaltig. Nach dem photochemischen Grundgesetz von GROTHUSS und DRAPER (in 1) wird aber nur der absorbierte Teil einer Strahlung wirksam (2). Der Energieverlust und damit der Dosisabfall setzt sich zusammen aus der Absorption und der Streuung. Grundlage der therapeutischen Anwendung ist neben der Absorption die verschiedene Strahlenempfindlichkeit des Tumorgewebes und des gesunden Gewebes (sogenannte Tumorelektivität). Das Bestreben des Strahlentherapeuten ist es, die nötige vernichtende Dosis an den Bestrahlungsherd zu bringen und dabei das durchstrahlte und das dem Tumor benachbarte gesunde Gewebe möglichst zu schonen. Das heißt insbesondere, daß er Bestrahlungsbedingungen auszuwählen hat, die für einen speziellen Fall einen günstigen Dosisabfall im Gewebe bewirken.

1.1 Abhängigkeit des Dosisabfalls von physikalischen und geometrischen Faktoren

Den Dosisabfall kann man durch Variation von verschiedenen Faktoren beeinflussen, zum Beispiel durch die Wahl der Strahlenqualität. Härtere Strahlen haben ein größeres Durchdringungsvermögen als weiche. Der unbeeinflusste Strahlenrest wird also mit zunehmender Quantenenergie größer (3).

Ferner besteht ein Einfluß des Fokus-Haut-Abstandes (FHA). Der Abstand vom Brennfleck geht im

Quadrat in den Dosisabfall ein (Prinzip der Nahbestrahlung).

Größere Felder haben eine größere Tiefenwirkung als kleine (Einfluß der Streuung).

1.2 Sammlungen von Dosisabfallkurven

In der Literatur finden sich zahlreiche Angaben über den Verlauf der Tiefendosis unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen (zum Beispiel MAYNEORD und LAMERTON (4), QUIMBY und LAURENCE (5), OLIVER, R. und L.E.KEMP (6), ALLSOPP (7), JOHNS, H.E. (8) und andere). In Deutschland wurden solche Tabellen von GREBE und NITZGE (1930) und später von GREBE und WIEBE in den "Tabellen zur Dosierung von Röntgenstrahlen" (9) zusammengestellt. WACHSMANN und DIMOTSIS brachten die "Kurven und Tabellen für die Strahlentherapie" (10) heraus.

Entsprechende Publikationen der englischen Literatur sind das Supplement No. 5 (11) und No. 10 (12) des "British Journal of Radiology".

Diese Dosistabellen berücksichtigen die oben genannten Variationsmöglichkeiten.

1.3 Einfluß der Feldform - Aufgabestellung

Die Auswirkung unterschiedlicher Feldformen auf die relative Tiefendosis im Zentralstrahl ist noch wenig untersucht. Vermutlich aus Gründen der Übersichtlichkeit und der einfacheren Handhabung der Tabellen wurde auf die Schilderung des Einflusses der Feldform verzichtet. Über den Einfluß der Feldform waren sich jedoch KEPP und MARTIUS (13) im klaren, wenn sie schreiben: "Die Tiefendosis hängt außer von der Feldgröße auch von der Feldform ab. Für die in der Strah-

lentherapie gebräuchlichen Bestrahlungsfelder ist aber diese Abhängigkeit unwesentlich." Für die in der Stehfeldbestrahlung üblichen Felder mit einem Seitenverhältnis von nicht über 1 : 1,5 (zum Beispiel 6 x 8, 8 x 10, 10 x 15 und 20 x 24) mag dieser Satz Gültigkeit haben. (14).

Die für die Tabellenbücher gemessenen Isodosen und Tiefendosen beziehen sich auf quadratische oder kreisförmige Felder, meist gemessen in Wasserphantomen (siehe 2.1.2).

Bei der Bestrahlung mit bewegter Röhre ("Bewegungsbestrahlung") kommen auch Felder mit kleinerer Feldgröße und unterschiedlicher Feldform in Betracht, so zum Beispiel bei der Bestrahlung von Oesophagus, Larynx und Medulla (15). Um benachbartes gesundes Gewebe vor Strahlenschäden zu bewahren, läßt man sich bei der Feldwahl von den anatomischen Gegebenheiten leiten. Bei den in der Bewegungsbestrahlung zur Anwendung kommenden Feldern empfiehlt es sich - wie noch näher gezeigt werden soll - den Einfluß der Feldform zu beachten, denn es ergibt sich hier besonders bei Strahlungen, bei denen viel Streustrahlung auftritt, ein steilerer Dosisabfall, wenn das Seitenverhältnis stärker von 1:1 abweicht. In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit bei Feldern mit den Seitenverhältnissen 1:2, 1:4, 1:6 und 1:10 bei einer konstanten Feldgröße von 100 cm^2 ein meßbarer Unterschied der Tiefendosis im Zentrhlstrahl gegenüber quadratischen (oder kreisrunden) Feldern vorhanden ist.

2. Versuchsanordnung

2.1 Apparatebeschreibung

2.1.1 Strahlenquellen

Für die Messungen mit den Strahlenqualitäten 50 kV, 80 kV, 140 kV und 200 kV wurde ein Siemens-Röntgenapparat Stabilipan 200 mit Ölröhre, für die Messung der Strahlenqualität 300 kV der Siemens-Stabilipan 300 - ebenfalls mit Ölröhre - verwendet. Zur Erzeugung der Gammastrahlung stand die Cobalt-60 Fernbestrahlungsapparatur der Siemens-Reiniger-Werke "Gammatran I" mit einer Co-60-Quelle von etwa 1000 Ci zur Verfügung (16).

Bei den Röntgenstrahlen wurde mit Normalstrahlung gearbeitet. Darunter versteht man eine heterogene Strahlung, die so gefiltert ist, daß ihre Halbwertsdicke (HWD) gleich der einer homogenen Strahlung halber Röhrenspannung entspricht (10).

Im einzelnen wurde mit folgenden Strahlenqualitäten gemessen:

50 kV entspricht einer HWD von 1,5 mm Al,
80 kV entspricht einer HWD von 5,0 mm Al,
140 kV entspricht einer HWD von 0,63 mm Cu,
200 kV entspricht einer HWD von 1,75 mm Cu,
300 kV entspricht einer HWD von 3,5 mm Cu
und mit Co-60.

2.1.2 Phantom und Phantommaterial

Für strahlentherapeutische Messungen werden Phantome aus unterschiedlichem Material verwendet. Die Bedingung, daß mittlere Ordnungszahl und Elektronendichte im Phantom und im Gewebe möglichst gleich sind (17), wird von Wasserphantomen am besten

erfüllt. Für die Bestimmung der Tiefendosen, wie sie in den Tabellenbüchern erscheinen, werden im allgemeinen Wasserphantome aus Plexiglas benutzt. Diese sind für die konventionelle Röntgenstrahlung gut geeignet (18). Von einigen Autoren werden aber auch spezielle Substanzen angegeben, die den Verhältnissen des menschlichen Körpers besonders gut entsprechen sollen, zum Beispiel von KEIM eine Gelatinemischung (19) oder Paraffin und Wachs. Zur Frage der Verwendung von Wasser als Phantoms substanz stellt YIANNAKOPOULOS fest: "Trotz gewisser Nachteile, die Wasserphantome zugegebenerweise besitzen (Schwierigkeiten bei der Realisierung gekrümmter Oberflächen, Isolationsschwierigkeiten der Meßkammer, Reproduktion gewisser Meßpunkte), erscheint uns Wasser das zuverlässigste, am besten reproduzierbare und dazu auch praktisch kostenlose, somit normalerweise das günstigste Phantommaterial zu sein" (20, 24). Zur Messung der relativen Tiefendosis wurde von uns ein Wasserphantom von 38 x 38 x 57 cm Größe aus Plexiglas verwendet. Andere Phantoms substenzen brauchten nicht diskutiert zu werden, zumal der Wassergehalt der meisten Gewebe erheblich ist (Bindegewebe 80%, Muskel 76%, graue Hirnsubstanz 86% usw. (1)). BALZ, BIRKNER und WACHSMANN kommen zu dem Ergebnis, daß bei Knorpel, Muskel und Hirnsubstanz kein meßbarer Unterschied gegenüber Wasser besteht (21).

Der Schutz der Meßkammer gegen Feuchtigkeit ist mit einer dünnen, fingerhandschuhähnlichen Gummihülle leicht möglich.

2.3.1 Dosimeter

Das Verhältnis Tiefendosis zu Oberflächendosis wird die "prozentuale oder relative Tiefendosis"

genannt.

Dieses Verhältnis läßt sich am genauesten mit zwei getrennten Dosimetern gleichzeitig messen. Es wurden zwei Simplex-Dosimeter der Physikalisch-Technischen Werkstätten mit Schlauchkammer benutzt. Diese Geräte arbeiten in einem Bereich von 2 mm Al bis 2 mm Cu HWD praktisch energieunabhängig (22). Da es sich hier nicht um eine Messung der absoluten Dosis handelt, können diese Dosimeter auch über diesen Bereich hinaus verwendet werden.

2.2 Ausblendung der verschiedenen Feldformen

Die Begrenzung der Strahlenkegel erfolgte durch die an den Bestrahlungsapparaten angebrachten Einrichtungen zur Ausblendung der Felder. Dabei sind drei Möglichkeiten zu unterscheiden (23): Die Größe des vollausgestrahlten Feldes, die des Feldes einschließlich der Halbschatten und der Mittelwert aus beiden. In der vorliegenden Arbeit wurde von Feldern ausgegangen, die durch das Lichtvisier ohne Berücksichtigung der Halbschatten kontrollierbar sind. Es wurde nicht versäumt, einen eventuellen Apparatfehler und die damit verbundene Abweichung des ausgeblendeten Strahlenbündels vom Lichtkegel des Lichtvisiers durch einen Fluoreszenzschirm festzustellen. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- a) Die gewünschte Feldform wurde auf Papier gezeichnet.
- b) Der Strahlenkegel wurde soweit ausgeblendet, bis das Feld der entsprechenden Form aufleuchtete.
- c) Das Feld wurde mit dem Lichtvisier ausgeleuchtet und markiert.
- d) Zuletzt wurde das Feld unter Verwendung eines Leuchtschirmes verglichen und nötigenfalls nachgestellt.

Darin ist noch eine Ungenauigkeit enthalten, da die Konturen auf dem Leuchtschirm nicht so scharf sind wie der Schattenwurf des sichtbaren Lichtes.

Die Größe des Halbschattens ist sicher nicht unerheblich, da sie von dem Umfang des Brennfleckes und der Entfernung Fokus - Blende sowie Blende - Haut abhängig ist beziehungsweise von dem Verhältnis FHA zu Fokus-Blenden-Abstand. Eine fokusferne beziehungsweise "haut"-nahe Ausblendung wurde nicht für erforderlich gehalten, da in der Bewegungsbestrahlung, wo die entsprechenden Feldformen vornehmlich angewandt werden, eine andere Abgrenzung der zu bestrahlenden Gebiete nicht üblich ist.

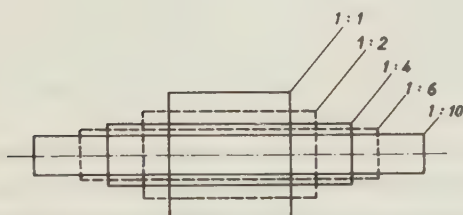


Abb.1 Die verschiedenen Feldformen im Verhältnis zueinander

Ein FHA von 100 cm war erforderlich, um die größte Kantenlänge des Feldes mit dem Seitenverhältnis 1:10 ausblenden zu können. Die Kantenlängen der Felder sind:

Seitenverhältnis	Kantenlänge in cm	Feldgröße in cm
1 : 1	10 x 10	100
1 : 2	7,1 x 14,2	100
1 : 4	5 x 20	100
1 : 6	4,1 x 24,4	100
1 : 10	3,2 x 32	100

3. Meßablauf, Dosisermittlung und Meßergebnisse

Als Bezugsgröße für die prozentuale Tiefendosis können zwei verschiedene Werte genommen werden: einmal die "Einfallsdosis", die in einem bestimmten Fokusabstand frei Luft gemessen wird und zum anderen die Dosis an der Oberfläche der Haut, die sogenannte "Oberflächen-(wirkungs)dosis", die sich aus der Einfallsdosis und der Streuzusatzdosis zusammensetzt.

Gemessen wurde mit zwei Dosimetern gleichzeitig, die vorher aufeinanderabgestimmt worden waren. Eine Meßkammer wurde horizontal auf der Wasseroberfläche fixiert, während die zweite Kammer mittels eines festen und unverrückbaren Stativs in der gewünschten Tiefe festgehalten wurde (Abb.2). Bei den Messungen wurde zu jedem Wert

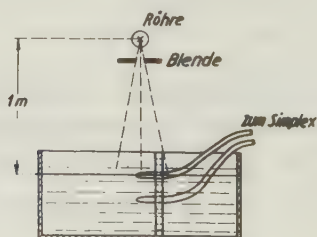


Abb.2 Schematische Darstellung der Versuchsanordnung

in einer bestimmten Wassertiefe die entsprechende Dosis "in" der Oberfläche mitgemessen. "In" der Oberfläche soll dabei heißen, daß der Schwerpunkt der Kammer in der Oberfläche lag, das heißt, daß sie nur mit der unteren Hälfte in die Phantomschubstanz eintauchte. Dabei war die Kammer so fixiert, daß ihre Lage für die ganze folgende Meßreihe nicht mehr verändert werden brauchte, da sie im Zentralstrahl angebracht war.

Auf dem Boden des Phantoms waren maßstabgerecht vergrößert die Feldformen markiert, so daß mit dem Lichtvisier sowohl eine Kontrolle des ausgeblendeten Feldes wie auch der Lage der Meßkammer im Vergleich zum Feld möglich war. Fokus, Meßkammer und Feldmittelpunkt mußten senkrecht untereinander liegen. Die Lage der Meßpunkte blieb während einer Versuchsreihe in der bestimmten Wassertiefe unverändert. Mit den kontinuierlich verstellbaren Blenden konnten nacheinander die gewünschten Feldformen ausgeblendet werden. Jede Neueinstellung eines Meßpunktes erhöht den Fehler (siehe Absatz 4 - Fehlerbetrachtung).

Die "Dosis"-Messung war keine Ermittlung der absoluten Dosis, sondern eine Relativmessung. Das Simplex-Dosimeter mißt die Aufladung eines Kondensators durch die Ionisationswirkung der Elektronen. Die Dosis entspricht dabei der Zahl der Sprünge. Zur Ermittlung des Bruchteiles von Einzelsprüngen diente ein kontinuierlich mitlaufendes Zeigerinstrument. Ein Beispiel zur Erläuterung:

Ein Feld mit dem Seitenverhältnis 1:4 wurde zwei Minuten mit Normalstrahlung von 200 kV bestrahlt. Das Dosimeter mit der Kammer in der Wasseroberfläche zeigte 32,8 Sprünge an. Dieser Wert wurde gleich 100% gesetzt. Nach der Bestrahlungszeit blieb das Dosimeter, an das die Schlauchkammer in beispielsweise 12 cm Wassertiefe angeschlossen war, nach 8,2 Sprüngen stehen. Die relative Tiefendosis beträgt in diesem Falle $8,2/32,8 \times 100 = 25\%$.

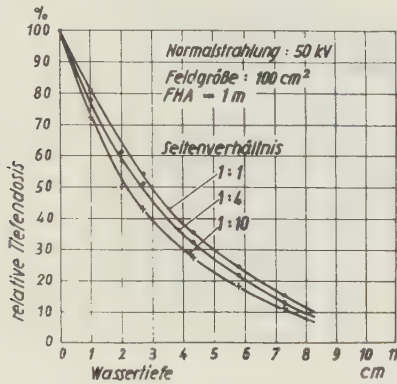
Vor jeder Meßreihe wurden beide Dosimeter unter gleichen Bedingungen, das heißt in einem 10×10 Feld in gleicher Wassertiefe fixiert auf gleiche Empfindlichkeit abgestimmt.

Ein Vergleich der Meßwerte der Felder mit verschiedenem Seitenverhältnis zeigt, daß ein unterschiedlicher Dosisabfall gemessen wurde. Der Dosisabfall quadratischer Felder verläuft bei allen Strahlenqualitäten am wenigsten steil, wie aus der graphischen Darstellung ersichtlich ist. (vergleiche 3.1 bis 3.6). Zwischen diesem Dosisabfall und dem bei Feldern gleicher Größe aber anderer Seitenverhältnisse ist stets eine experimentell meßbare Differenz vorhanden. Bei Normalstrahlung von 50 kV - entsprechend einer HWD = 1,5 mm Al - beträgt die Abweichung des Feldes 1:4 vom Quadratfeld - absolut betrachtet - 2,8% und zwischen den Feldern 1:4 und 1:10 5,3% im Durchschnitt. Obwohl die Felder mit einem Verhältnis Länge:Breite 1:1 und 1:2 geometrisch ähnlich sind, besteht bei Normalstrahlung von 140 kV im Mittel aus den Wassertiefen 3 cm, 4,5 cm, 6 cm, 7,5 cm, 9 cm, 10,5 cm und 12 cm ein Unterschied von 1,2%. Die folgenden Abbildungen zeigen, daß diese Beispiele für alle Versuchsreihen gelten.

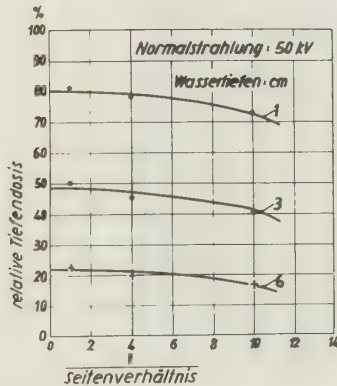
Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden in die graphischen Darstellungen die Kurven für die Seitenverhältnisse 1:2 und 1:6 nicht mit eingezeichnet. Die Kurve des Feldes 1:2 schmiegt sich eng an die des Feldes 1:1 an, und der Dosisabfall von 1:6 ähnelt dem von 1:4. Es hätte also nichts Neues gebracht.

Die relative Tiefendosis der verschiedenen Feldformen

3.1 bei einer Strahlenqualität von 50 kV

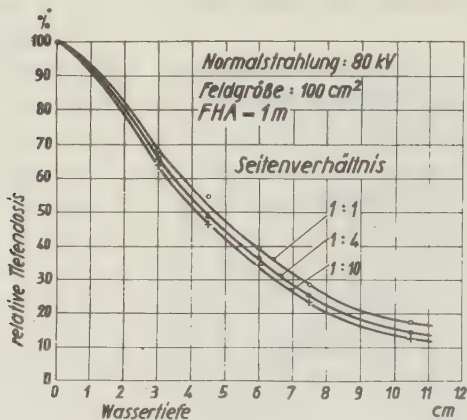


Verlauf der Tiefendosis einer Strahlung von 1,5 mm Al bei verschiedenem Verhältnis von Länge:Breite für Felder mit 100 cm² Fläche.

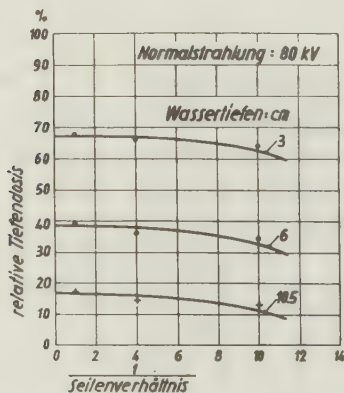


Darstellung der Ergebnisse von oben in Abhängigkeit von der Feldform bei konstanter Wassertiefe.

3.2 bei einer Strahlenqualität von 80 kV

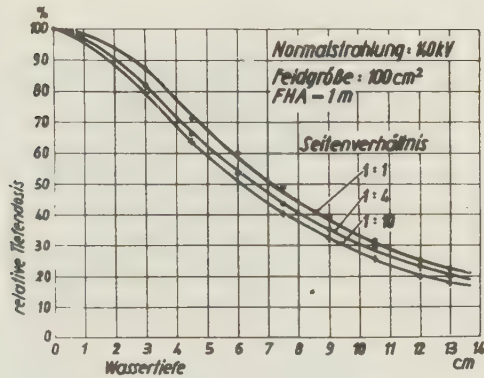


Verlauf der Tiefendosis einer Strahlung von 5 mm Al bei verschiedenem Verhältnis Länge: Breite für Felder mit 100 cm² Fläche.

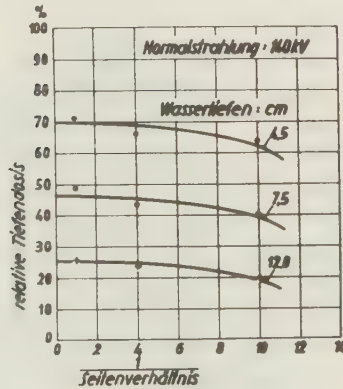


Darstellung der Ergebnisse von oben in Abhängigkeit von der Feldform bei konstanter Wassertiefe.

3.3 bei einer Strahlenqualität von 140 kV

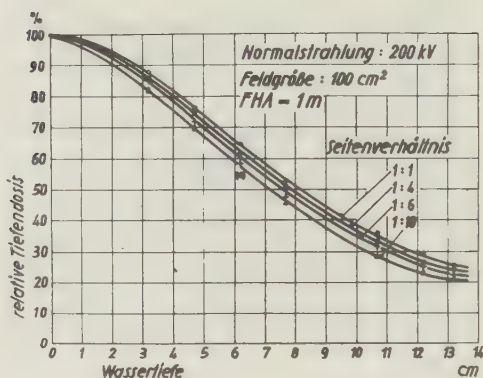


Verlauf der Tiefendosis einer Strahlung von 0,63 mm Cu bei verschiedenem Verhältnis Länge: zu Breite für Felder mit 100 cm² Fläche.

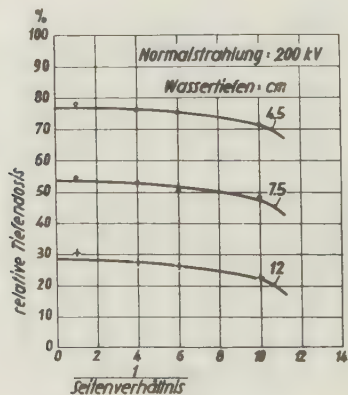


Darstellung der Ergebnisse von oben in Abhängigkeit von der Feldform bei konstanter Wassertiefe.

3.4 Bei einer Strahlenqualität von 200 kV

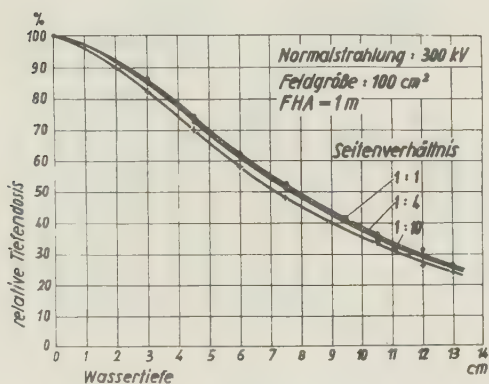


Verlauf der Tiefendosis einer Strahlung von 1,75 mm Cu bei verschiedenem Verhältnis Länge : Breite für Felder mit 100 cm² Fläche.

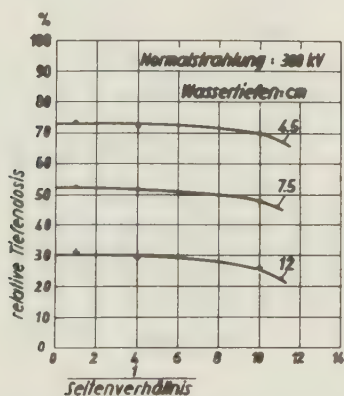


Darstellung der Ergebnisse von oben in Abhängigkeit von der Feldform bei konstanter Wassertiefe.

3.5 bei einer Strahlenqualität von 300 kV

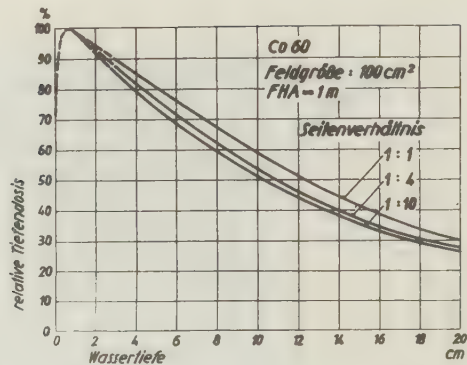


Verlauf der Tiefendosis einer Strahlung von 3,5 mm Cu bei verschiedenem Verhältnis Länge: Breite für Felder mit 100 cm² Fläche.

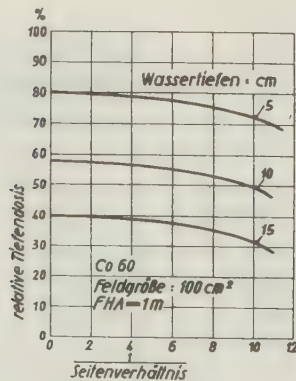


Darstellung der Ergebnisse von oben in Abhängigkeit von der Feldform bei konstanter Wassertiefe.

3.6 von Co-60



Verlauf der Tiefendosis der Kobaltstrahlung bei verschiedenem Verhältnis von Länge:Breite für Felder von 100 cm² Fläche.



Darstellung der Ergebnisse von oben in Abhängigkeit von der Feldform bei konstanter Wassertiefe.

Aufschlußreich ist auch die Darstellung der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Feldform bei konstanter Wassertiefe. Dabei wurde das Verhältnis von Länge:Breite als Maß für die Feldform gewählt und auf der Abszisse aufgetragen. Hierbei kommt zum Ausdruck, wie der Tiefendosiswert mit dem Anstieg des Seitenverhältnisses abfällt.

Die oben erwähnte absolute Differenz zwischen den Dosisabfallkurven der verschiedenen Feldformen verdeutlicht die Situation ungenügend. Interessant ist deshalb die Darstellung der Abweichung in Relation zu dem Ausgangswert des quadratischen Feldes (Abb.3). Die Herddosis kann bei Verwendung eines langen und gestreckten Feldes erheblich geringer sein. Angenommen, der Tabellenwert für ein 10×10 cm-Feld beträgt in 10 cm Tiefe 10%. Der Meßwert des Feldes mit dem Seitenverhältnis 1:4 soll 8% betragen, so muß eine Abweichung von 20% in Betracht gezogen werden! Die Abbildung 3 zeigt die "relative" Abweichung anhand eines Beispiels bei einer Strahlenqualität von 200 kV (vergleiche auch Abb.6).

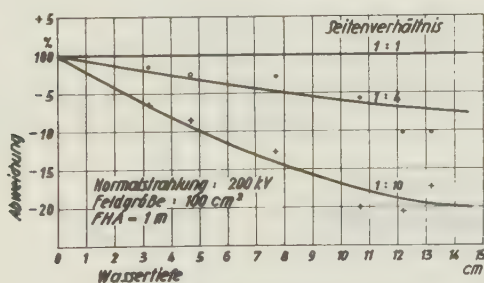


Abb.3 Der Verlauf der Abweichung bei nicht quadratischen Feldern von 100 cm² Fläche.

Ohne die Angabe der Feldform ist also die zu erwartende Tiefendosis nicht ausreichend definiert. Überdosierungen sind zwar nicht möglich, da die in den Sammlungen von Dosisabfallkurven angegebenen Tabellenwerte für den Fall der größtmöglichen Dosis, das heißt quadratische Felder, ermittelt wurden. Dagegen treten Unterdosierungen auf.

Die "International Atomic Energy Agency" (IAEA) hat nun den Versuch unternommen, das in der Literatur vorhandene Material an Tiefendosen und Isodosen-Kurven in einem Katalog zusammenzustellen ("Radiation Data for Medical Use"). Dabei ist die Frage aufgetaucht, ob der Einfluß der unterschiedlichen Feldformen gleicher Flächeninhalte so groß ist, daß sie berücksichtigt werden müssen. Zumindest ist - wie das Ergebnis zeigt - ein Hinweis unbedingt notwendig.

Die endgültige Lösung des Problems ist die Angabe von Umrechnungsfaktoren. Damit wäre es möglich, die relative Tiefendosis für verschiedene Feldformen aus den Tabellenangaben zu errechnen. In Abbildung 4 ist ein Beispiel dafür angegeben.

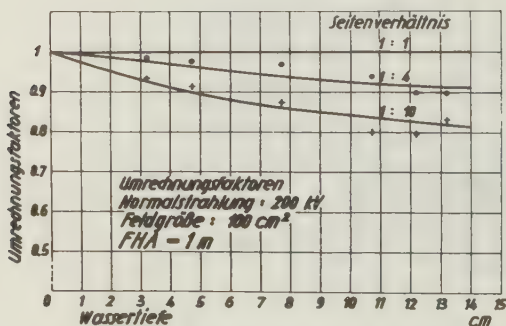


Abb.4 Umrechnungsfaktoren für nicht quadratische Felder von 100 cm² Fläche.

4. Fehlerbetrachtung

Bei Messungen dieser Art sind eine Reihe von Fehlerquellen zu beachten, die ihre Ursache in der großen Zahl der abhängigen Veränderlichen haben (FHA, Wassertiefe u.a.). Häufige Neueinstellungen erhöhen den Fehler.

Im Absatz 2.2 wurde auf eine gewisse Ungenauigkeit bei der Ausblendung der Feldformen hingewiesen. Der Fokus-Haut- (oder genauer Fokus-Wasseroberflächen-)Abstand dürfte hinreichend genau festgelegt werden können. Größere Fehler können hingegen bei der Bestimmung der Wassertiefe auftreten (24). Es wurde zur Bedingung gemacht, daß vor und nach der Versuchsreihe dieselbe Wassertiefe gemessen wird. In der jeweiligen Tiefe wurden alle in Betracht kommenden Feldformen durchgemessen. Ein eventueller Fehler wäre in alle Messungen mit demselben Betrag eingegangen und hätte das Ergebnis in gleicher Weise beeinflußt.

Die Simplex-Dosimeter stellten eine andere Fehlerquelle dar. Häufige Kontrollen der Empfindlichkeit waren erforderlich. Auftretende Differenzen machten Nachmessungen notwendig.

Es werden Meßwerte und Tabellenwerte gegenübergestellt. Eine gute Übereinstimmung ist ersichtlich:

Vergleich der eigenen Messungen mit Werten aus einem Tabellenbuch (10) für Co 60:

Wassertiefe cm	Meßergebnis %	Tabellenbuch %
0	72,4	100
0,3	99,1	---
0,5	100	99,0
0,8	99,0	---
1,0	97,4	98,0

Fortsetzung:

1,5	94,8	96,0
2,0	93,0	94,0
3,0	88,7	89,0
4,5	83,0	82,0
6,0	74,7	76,0
7,0	72,5	71,0
9,0	65,1	62,0
11,0	53,9	54,0
14,0	44,5	44,0
15,5	40,0	39,5
17,0	36,5	36,0
18,5	32,5	32,5

5. Theoretische Verfahren

In der Literatur sind einige rechnerische oder geometrische Verfahren zur Bestimmung der Tiefendosis der verschiedenen Feldformen beschrieben worden.

5.1 Methode der sich entsprechenden Felder ("the equivalent field method")

Die Tiefendosen des Zentralstrahles quadratischer und kreisförmiger Felder mit gleichem Inhalt sind praktisch identisch. Diese Werte sind in den vorhandenen Tabellen enthalten. JONES (25) und DAY (26, 27) gehen davon aus, und BATHO, THEIMER und THEIMER (28) führen diese Betrachtung fort, daß es möglich ist, für jede rechteckige Feldform ein Quadrat- oder Kreisfeld mit entsprechender Tiefendosis zu finden. Die Schwierigkeit ist die Bestimmung des äquivalenten Radius beziehungsweise Durchmessers. Der Radius oder der Durchmesser des Quadrates kann mit einer Formel berechnet oder aus Tabellen (27) entnommen werden. Handelt es sich nicht um extreme Fälle, zum Beispiel um sehr lange und schmale Felder, so sind die Abweichungen der so ermittelten Tiefendosen von den Meßwerten sicher nicht beträchtlich größer wie die durch Meßungenauigkeit bedingten. (29).

5.2 Feldverlängerung (=Elongation)

Unter "Elongation" - was mit Feldverlängerung übersetzt werden soll - versteht man das Verhältnis Länge zu Breite. Bei der Darstellung der Meßergebnisse in Abhängigkeit von der Feldform - Absatz

3.1 bis 3.6 - wurde das Seitenverhältnis Länge zu Breite als "Maß" für die Feldform gewählt. Es ist also mit der Elongation identisch.

Das Rechteck wird bestimmt durch den äquivalenten Radius und der Elongation.

Die Differenz zwischen der errechneten Dosis und dem tatsächlichen Dosiswert im Zentralstrahl langer, gestreckter Felder (Seitenverhältnis 1:4, 1:6, 1:10) hat folgende Ursache: Die Meßkammer liegt zwar im Zentrum des Feldes, aber sie ist von den Feldkanten nicht gleichweit entfernt (29). Die "Verteilung" des Feldes um die Meßkammer ist ungleichmäßig. Die Wirkung der Streustrahlung ist dadurch unterschiedlich.

6. Vergleich mit der Literatur

Eine kritische Betrachtung der von CLARKSON angegebenen Werte mit unseren Meßergebnissen:

Eine Methode zur Tiefendosisberechnung beliebiger Punkte für alle unregelmäßigen Feldformen gibt CLARKSON (30) an. Dabei wird davon ausgegangen, daß jedes noch so unregelmäßig geformte Feld in Kreissegmente aufgeteilt werden kann. Durch Wahl bestimmter Segmente und Summation der Tiefendosisanteile kann die prozentuale Tiefendosis errechnet werden.

CLARKSON hat seine Berechnungen für Felder von 25 cm² und 100 cm² unter Berücksichtigung folgender Feldformen angestellt:

Kreis (entsprechend 1:1), 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 10:1, 100:1 und ∞ :1. Die HWD = 1 mm Cu entspricht einer Normalstrahlung von etwa 155 kV, ist also bei einem Vergleich mit den Meßergebnissen zwischen 3.3 -

140 kV (Seite 13) und 3.4 - 200 kV (Seite 14) einzuordnen. Der FHA beträgt 80 cm. Bei der übernommenen Abbildung 5 wurden die Werte auf einen FHA von 50 cm umgerechnet.

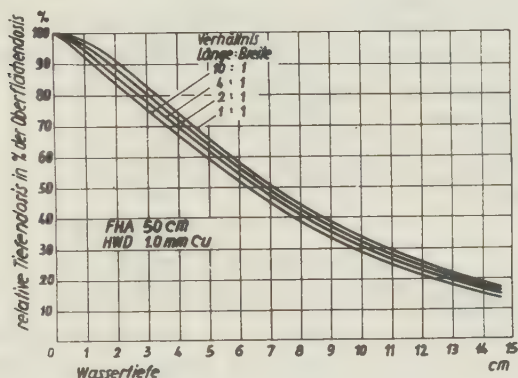


Abb.5 Verlauf der Tiefendosis einer Strahlung von 1 mm Cu HWD bei verschiedenem Verhältnis Länge:Breite (14). (Nach CLARKSON).

Eine nochmalige Umrechnung auf den bei den Messungen verwendeten Abstand von 100 cm wurde nicht für erforderlich gehalten, da die Differenz nur unwesentlich ins Gewicht fällt und drei verschiedene Fokus-Haut-Abstände desselben Wertes nur verwirren würden. Für die Abbildungen 6 und 7 wurden die Werte von CLARKSON verwendet. Eine direkte Gegenüberstellung der errechneten Werte und der Meßergebnisse und eventuell eine Nachmessung von CLARKSON erübrigt sich, da schon vom Aspekt her eine Übereinstimmung zwischen den Darstellungen Seite 13 und Seite 14 und Abbildung 5, zwischen Abbildung 3 und Abbildung 6 und ebenso zwischen Abbildung 4 und Abbildung 7 ersichtlich ist.

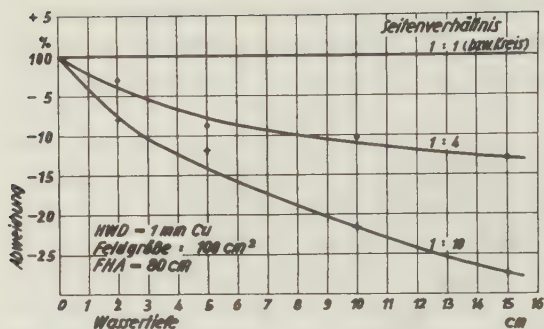


Abb.6 Der Verlauf der Abweichung bei nicht quadratischen Feldern von 100 cm² Fläche (nach CLARKSON).

Das mathematische Verfahren zur Tiefendosisbestimmung unregelmäßiger beziehungsweise verschieden geformter Felder nach CLARKSON (30) entspricht den Messungen.

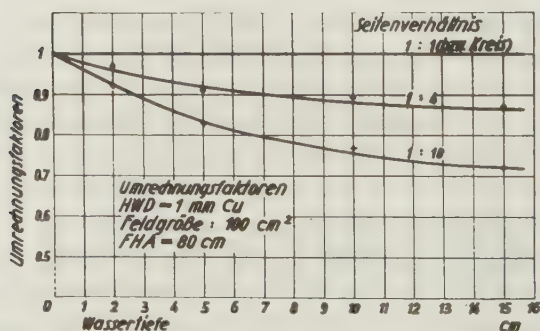


Abb.7 Umrechnungsfaktoren für nicht quadratische Felder von 100 cm² Fläche (nach CLARKSON).

Wenn die Abweichungen in Abbildung 6 größer sind und der Unterschied der Umrechnungsfaktoren in Abbildung 7 deutlicher ist, so ergibt sich daraus die Tatsache, daß die Rückstreuung im Bereich um 155 kV ein Maximum hat (10).

Für klinische Zwecke kommen mathematische Verfahren dieser Art nicht in Betracht, da sie in der Anwendung zu kompliziert sind.

7. Schlußfolgerungen

In der modernen Strahlentherapie werden in besonderen Fällen zum Schutz des benachbarten gesunden Gewebes sehr verschiedene und auch extreme Feldformen angewendet. Die gebräuchlichen Tiefendosistabellen berücksichtigen nicht, daß der Dosisabfall des Feldes 5×20 cm beispielsweise steiler verläuft als bei einem Bestrahlungsgebiet von 10×10 cm. Wird dies nicht beachtet, so ist Unterdosierung die Folge. Es kann - wie in Absatz 3 erwähnt - die Tumor- oder Herddosis dadurch um 20% geringer sein als beabsichtigt und benötigt. Vorgeschlagene theoretische Verfahren zeigen, daß das Problem bekannt ist, scheitern aber daran, daß sie für die klinische Praxis zu schwierig und umständlich in der Anwendung sind. Es ist nötig, in Tabellensammlungen die verschiedenen Feldformen zu berücksichtigen oder zumindest Umrechnungsfaktoren anzugeben, was in der vorliegenden Arbeit für zwei Beispiele geschehen ist.

8. Zusammenfassung

Es wird gezeigt, daß ein experimentell meßbarer Unterschied der prozentualen Tiefendosis im Zentralstrahl bei Feldern mit verschiedenem Seitenverhältnis besteht. Die für einige Röhrenspannungen ermittelten Meßergebnisse werden graphisch dargestellt. Ein Vergleich der von CLARKSON theoretisch ermittelten Werte mit den Meßergebnissen zeigt Übereinstimmung. Mathematische Berechnungen sind für die klinische Praxis zu kompliziert.

Bei Sammlungen von Dosisabfallkurven sollten die durch die Feldform bedingten Unterschiede, die unter Umständen bis zu 20% betragen können, angegeben werden.

9. Literaturverzeichnis

- 1 SCHREIBER, H.:
Biophysikalische Strahlenkunde Band I
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften
Berlin 1957
- 2 WACHSMANN, F. in Meyer und Matthes:
"Die Strahlentherapie"
Georg Thieme, Stuttgart 1949
- 3 WACHSMANN, F.:
Strahlentherapie 76, 371 (1947)
- 4 MAYNEORD, W.V. und L.F. LAMERTON:
Brit.J.Radiol. 14, 255 (1941)
- 5 QUIMBY, E.H. und G.C. LAURENCE:
Radiology 35, 138 (1940)
- 6 OLIVER, R. und L.E. KEMP:
Brit.J.Radiol. 22, 253 (1949)
- 7 ALLSOPP, C.B.:
"Central Axis Depth Dose Data"
Brit.J.Radiol. Suppl.5 (1953)
- 8 JOHNS, E.H.:
"Physics of Radiation Therapy"
Ch. Thomas, Springfield 1953
- 9 GREBE, L. und W. WIEBE:
"Tabellen zur Dosierung von Röntgenstrahlen"
Urban u. Schwarzenberg, Berlin-München 1950
- 10 WACHSMANN, F. und A. DIMOTISIS:
"Kurven und Tabellen für die Strahlentherapie"
S. Hirzel, Stuttgart 1957
- 11 "Central Axis Depth Dose Data"
Brit.J.Radiol. Suppl.No. 5 (1953)
- 12 "Depth Dose Tables for Use in Radiotherapy"
Brit.J.Radiol. Suppl.No. 10 (1961)

- 13 KEPP und MARTIUS:
"Grundlagen der Strahlentherapie"
Georg Thieme, Stuttgart 1952 (Anmerkung S.53)
- 14 WACHSMANN, F. in:
Handbuch der medizinischen Radiologie Bd. XVI
Springer, Heidelberg - in Druck -
- 15 HÄUFLE, J.:
"Gibt es bei der Pendelbestrahlung eine
Abhängigkeit zwischen Streuzusatzstrahlung
und der Feldlänge?"
Diss., München 1940
- 16 Betriebsanleitung der SRW für:
Stabilipan 200
Stabilipan 300
Gammatron I
- 17 HERVE, A.:
Radiologe 4, 291 - 292 (1964)
- 18 WICHMANN, H. und F. HEINZEL:
Leitfaden der Bewegungsbestrahlung, 1. Teil
Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959
- 19 KEIM, H.
Strahlentherapie 97, 459 - 460 (1955)
- 20 YIANNAKOPOULOS, A.:
Strahlentherapie 100, 477 - 480 (1956)
- 21 BALZ, G., R. BIRKNER und F. WACHSMANN:
Strahlentherapie 97, 382 - 388 (1955)
- 22 Gebrauchsanweisung der PTW für
Simplex-Dosimeter
- 23 KELLER, H. L.:
Dosisverteilung und Dosisermittlung bei der
Pendelbestrahlung (200 kV - 17 MeV)
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1964
- 24 WACHSMANN, F.:
Strahlentherapie 87, 253 (1952)

- 25 JONES, D.E.A.:
Brit.J.Radiol. 22, 342 (1949)
- 26 DAY, M.J.:
Brit.J.Radiol. 23, 368 (1950)
- 27 DAY, M.J.:
Brit.J.Radiol. Suppl.10, Appendix A (1961)
- 28 BATHO, H.F., D.THEIMER und R.THEIMER:
J.Canad.Assoc.Radiologists 7, 51 - 53 (1956)
- 29 BENDER, M. und A.KOHLER:
Strahlentherapie 76, 493 (1947)
- 30 CLARKSON, J.R.:
Brit.J.Radiol. 14, 265 (1941)

Herrn Professor Wachsmann möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas, für die großzügige Unterstützung meiner Arbeit und für die Übernahme des Referates meinen ergebensten Dank aussprechen.

Lebenslauf

Am 30. März 1940 wurde ich, Hilmar Talazko, als viertes Kind des Pfarrers Karl Talazko und seiner Ehefrau Hildgard, geborene Garbrecht, in Kamenz/Sachsen geboren. Von September 1946 bis Juni 1954 besuchte ich die Grundschule in Gersdorf bei Kamenz und ab September 1954 die Lessingoberschule in Kamenz. Dort legte ich im Juni 1958 die Reifeprüfung ab. Danach siedelte ich in die Bundesrepublik über. Hier benötigte ich für das Hochschulstudium eine Ergänzungsprüfung. Im März 1959 beendete ich einen entsprechenden halbjährigen Kurs in Bamberg. Nach anfänglichem Physik- und Chemiestudium in Erlangen entschloß ich mich für das Wintersemester 1960/61 zum Medizinstudium. Im Sommersemester 1961 legte ich in Erlangen das Vorphysikum, im Sommersemester 1963 die ärztliche Vorprüfung ab. Im Februar 1967 beendete ich das Medizin-Staatsexamen in Erlangen.

Offsetdruck - Fotodruck

Josef Hogl

8520 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz.) Tel. 22990

Offsetdruck - Fotodruck

- J. H o g l, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Telefon 22990 -